



Notat: On/Off tildeling af vækstregulering i alm. rajgræs - OnFarmPLUS. Forsøg 050292020-001.

Søren Kjærgaard Boldsen, specialist
Marlene Trinderup, konsulent
7. september, 2020

Formål

At analysere data fra et OnFarmPLUS forsøg i frøgræs. Forsøget er gennemført til test, dokumentation og demonstration af brug af vækstreguleringsmidler og dronebaseret tænd/sluk tildelingsfil på effekten af pesticider og økonomi. Dette med henblik på at vurdere og dokumentere om denne teknologi er effektiv og attraktiv og efterfølgende formidle resultatet til jordbrugerne.

Baggrund

Ved vækstregulering i frøgræs er der et oplagt potentiale for kun at tildele vækstreguleringsmidler, der hvor afgrøden har behov. Det er endnu ikke afklaret, hvilke niveauer af biomasseindeks, der skal udløse en behandling med vækstreguleringsmidler i frøgræsmarken.

I dette forsøg afdækkes derfor effekten af forskellige grader af On/Off tildeling af vækstregulering ud fra biomassen målt med drone, og skal dermed give en indikation af mulighederne for at lave tildeling ud fra biomasseniveau i frøgræs, samt den økonomiske besparelse ved at bruge On/Off tildeling.

Biomassemålingerne udføres med multispektralt kamera på drone, som muliggør udformning af tildelingskort til On/Off tildeling af vækstregulering i de enkelte parceller.

Overordnede konklusioner

Forsøget indikerer, at ved at benytte biomasseindeks (NDRE-værdier) til at styre en on/off tildeling af vækstreguleringsmidler er det muligt at reducere arealet der vækstreguleres med op til 75% og samtidig opnå et acceptabelt (ikke skadeligt) niveau af lejesæd i afgrøden, samt et tilfredsstillende udbytte.

Tabel 1 viser hvor stor en reduktion af det areal der vækstreguleres, der i gennemsnit er opnået i de fem behandlinger i forsøget. Der er tildelt vækstreguleringsmidler tre gange, så tabellen viser den reduktion i arealet der er opnået pr tildeling (gennemsnit af fire gentagelser), samt gennemsnittet af de tre tildelinger. Tabellen viser også udbytte, kg frø (ukorrigeret) for hver af de fem behandlinger.

Tabel 1. Reduktion (%) i tildeling af vækstreguleringsmidler vist både pr tildeling, og som gennemsnittet af de tre tildelinger, samt udbytte (kg frø, ukorrigeret).

Led	Procentvis reduktion i tildeling af vækstreguleringsmidler				UDBYTTE (ukorrigeret), kg frø
	Tildeling 1	Tildeling 2	Tildeling 3	Gennemsnit	
1 - ubehandlet	100	100	100	100	1.720
2 - normal tildeling	0	0	0	0	2.040
3	37,7	22,4	26,3	28,8	2.000
4	13,3	5,0	3,4	7,2	1.980
5	2,3	0,6	0,5	1,1	2.040



I tabel 1 ses at behandling 1 (ingen vækstregulering) resulterer i det laveste udbytte og behandling 2 og 5 (100% tildeling og 98.9% tildeling i gennemsnit) resulterer i de højeste udbytter. De to behandlinger, hvor der reduceres i tildelingen af vækstreguleringsmidler – behandling 3 med 28,8% reduktion og behandling 4 med 7,2% reduktion i gennemsnit – har lidt lavere udbytter end behandling 2 og 5, men ikke væsentligt.

Lejesæden er vurderet med karakterer fra 0 til 10, hvor 0 er ingen lejesæd og 10 er 100% lejesæd. Analyserne af forsøget giver et skøn (estimat) for den forventede effekt på lejesæd af de forskellige tildelingsniveauer af vækstreguleringsmidler. Tabel 2 viser en oversigt over de forventede lejesædskarakterer i forhold til de målte NDRE-værdier. I tabellen er NDRE inddelt i 5 grupper med 20% af observationerne i hver gruppe (percentilgrupper). I tabellen vises både den forventede reduktion i lejesædskarakter ved at gå fra 0% tildeling af vækstreguleringsmidler til 100% tildeling (hældningen), samt den forventede lejesædskarakter ved henholdsvis 0% tildeling af vækstreguleringsmidler og 100% tildeling. Der er også angivet signifikansgrupper (bogstavtest) samt 95% konfidensintervaller.

Tabel 2. Gennemsnit (estimat) for lejesædskarakterer, samt bogstavstest og 95% konfidensintervaller. Estimaterne er angivet henholdsvis som ændringen (hældningen) ved at øge tildelingen af vækstreguleringsmidler fra 0% til 100%, samt estimat for lejesædskarakter ved tildeling af vækstreguleringsmidler på henholdsvis 0 til 100%. Estimaterne er angivet for fem grupper af NDRE (20% af NDRE-værdierne i hver gruppe, percentilgrupper).

NDRE-niveau	Ændring i lejesædskarakter ved at gå fra 0% til 100% vækstregulering (hældningen)			Lejesædskarakter ved 0% tildeling		Lejesædskarakter ved 100% tildeling	
	Lejesæd	95% Konf.interval		Lejesæd	95% Konf.interval	Lejesæd	95% Konf.interval
[-0.054,0.066]	-4.54 (a)	[-5.10; -3.97]		5.79 (a)	[5.35; 6.23]	1.25 (a)	[0.96; 1.55]
(0.066,0.092]	-5.88 (b)	[-6.38; -5.38]		7.18 (b)	[6.77; 7.58]	1.29 (a)	[1.02; 1.57]
(0.092,0.108]	-5.68 (b)	[-6.22; -5.14]		7.61 (bc)	[7.15; 8.08]	1.93 (bc)	[1.68; 2.19]
(0.108,0.123]	-6.00 (b)	[-6.50; -5.50]		7.87 (c)	[7.45; 8.29]	1.87 (b)	[1.60; 2.13]
(0.123,0.168]	-4.79 (a)	[-5.43; -4.15]		7.03 (b)	[6.46; 7.60]	2.24 (c)	[1.99; 2.48]

Af tabel 2 ses det at der opnås den laveste reduktion af lejesæd både ved de laveste NDRE- og højeste NDRE-niveauer (hældning på henholdsvis -4,54 og -4,79). Det ses også, at ved de laveste NDRE-niveauer har man de laveste lejesædskarakterer både ved 0% tildeling af vækstmidler (5,79) og ved 100% tildeling (1,25). Dette indikerer at der kan reduceres i tildelingen af vækstreguleringsmidler i områder i marken med lave NDRE-niveauer.

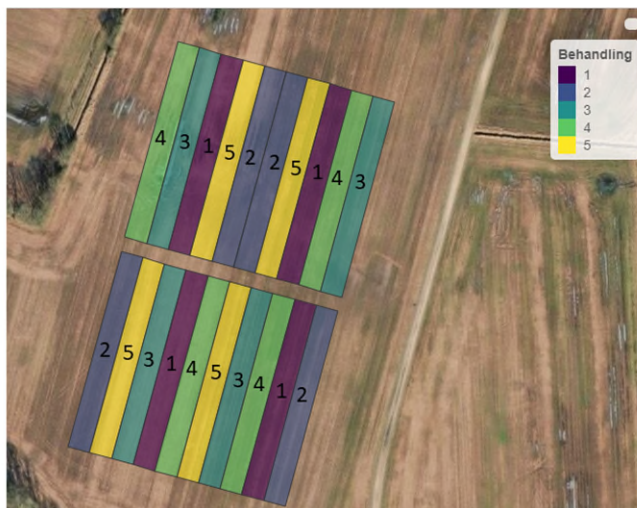
Forsøget viser, at man indenfor en mark kan udarbejde et tildelingskort, hvor der ikke tildeles vækstreguleringsmidler ved de 20% laveste NDRE-værdier og samtidig opnå et acceptabelt niveau af lejesæd og et fornuftigt udbytte. Resultaterne fra dette forsøg kan dog ikke benyttes til at angive, hvilke NDRE-niveauer, der skal resultere i, at der tildeles eller ikke tildeles vækstreguleringsmidler, idet NDRE-niveauerne kan være forskellige fra mark til mark. NDRE-målingerne afhænger af kalibreringen og det er kun med en god kalibrering man kan sammenligne NDRE-niveauer mellem marker.



Metode

Forsøgsdesign

Forsøget er anlagt med 5 led, hvor led 1 er ubehandlet, led 2 er med fast dosis, og led 3, 4 og 5 med On/Off tildeling, således at tildelingen af vækstreguleringsmidler er reduceret i forhold til led 2 med fuld dosis (se forsøgsplanen via [dette link](#)). I led 3 er reduktionen af vækstreguleringsmidler størst og led 5 er reduktionen mindst. Se tabel 1 hvor den gennemsnitlige reduktion af tildelinger pr led er angivet. Figur 1 viser en oversigt over forsøget med placering af de forskellige behandlinger i parcellerne.



Figur 1. Forsøgsmarken med de anlagte parceller og behandlingerne.

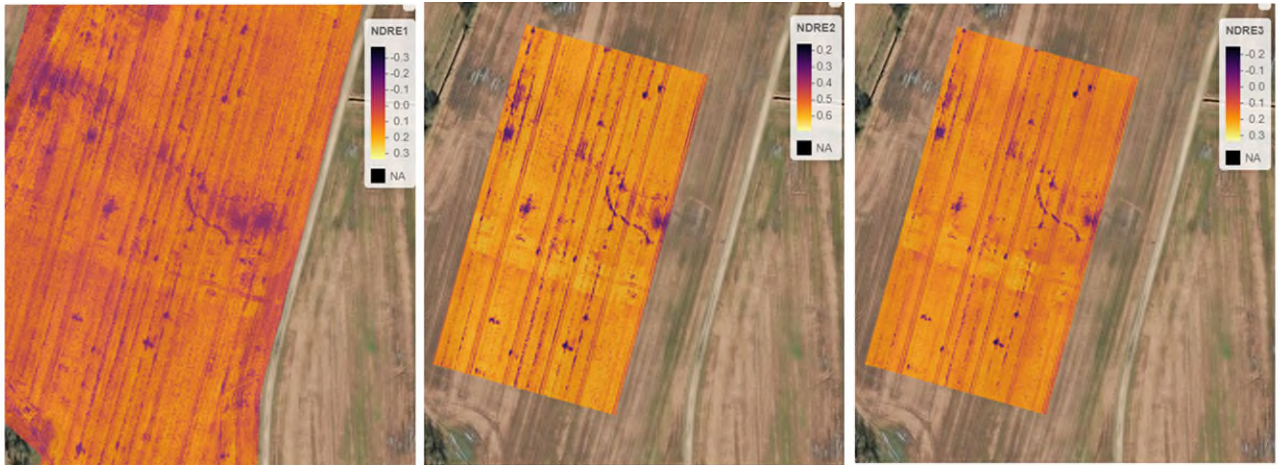
Data

I figur 2 ses NDRE målt i marken tre gange i løbet af april og maj. Disse målinger ligger til grund for tildelingskortene. Tildelingsfunktionen bestemmer områder med tildeling i led 3, 4 og 5 ud fra spændet i 20% fraktiler af NDRE-niveauer i marken.

I led 3 er der kun behandlet i det højeste 40% spænd i NDRE (svarende til at 28,8% af arealet i gns. ikke er behandlet)

I led 4 er der behandlet i det højeste 60% spænd i NDRE (svarende til at 7,2% af arealet i gns. ikke er behandlet)

I led 5 er der behandlet i det højeste 80% spænd i NDRE (svarende til at 1,1% af arealet i gns. ikke er behandlet)



Figur 2. NDRE-reflektans målt med drone tre gange i vækstsæsonen. Der er fløjet 1 til 3 dage før hver sprøjtning som er udført henholdsvis d. 25. april 2020, d. 11. maj 2020 og d. 26. maj 2020.

I figur 3 ses hvorledes tildelingen af vækstreguleringsmidler er fordelt. Det ses at led 1-parcellerne ikke er behandlet (0: farvet mørk i hele parcellen), mens led 2-parcellerne (1: farvet lysegrå i hele parcellen) har modtaget behandling i hele parcellen. Tabel 1 viser den gennemsnitlige reduktion i tildelingen pr led. Gennemsnittet er taget over de fire parceller pr led.



Figur 3. Tildeling af vækstreguleringsmidler udført henholdsvis d. 25. april 2020, d. 11. maj 2020 og d. 26. maj 2020.

Der er vurderet lejesæd d. 17. juni i subplots i hver parcel. Lejesædsvurderingerne er registreret med RTK GPS-kordinater. Lejesædsvurderingerne er registreret med karakterer som går fra 0 til 10, hvor 0 = helt stående, 10 = helt i leje. Figur 4 viser Lejesædskaraktererne i parcellerne.



Figur 4. Lejesædvurderingerne (karakter fra 0 til 10) registreret med RTK GPS-koordinater.

Model

Lejesædvurderingerne er analyseret med en geostatistisk model (se appendiks 1 for nærmere forklaring af modellen). I modellen indgår gennemsnittet af NDRE-målingerne fra de tre droneflyvninger sammen med et gennemsnit af tildeling. Dvs. at med tre behandlinger med On/Off tildeling bliver gennemsnittene af tildelingerne 0%, 33,3%, 66,7% og 100% i de punkter (RKT-koordinatet + 1 meter radius), hvor der er foretaget en lejesædvurdering. Dog er der i led 3-parcellerne et vist overlap af tildelingen indenfor 1-meter radiussen, som resulterer i at gennemsnittet af de tre On/Off tildeling af vækstreguleringsmidler afviger fra de ovenstående 0, 33, 66 og 100%.

$$\text{Lejesædvurdering} \sim \text{Tildeling} + \text{NDRE} + \text{Tildeling} \times \text{NDRE} + \text{Gent} + \text{SF}(x, y \text{ koordinater})$$

Hvor:

Lejesædvurdering: karakterer fra 0 til 10

Tildeling: tildeling af vækstreguleringsmidler (0 – 100%; $\text{Tildeling} = (\text{Tildeling1} + \text{Tildeling2} + \text{Tildeling3})/3$)

NDRE: NDRE-reflektans ($\text{NDRE} = (\text{NDRE1} + \text{NDRE2} + \text{NDRE3})/3$)

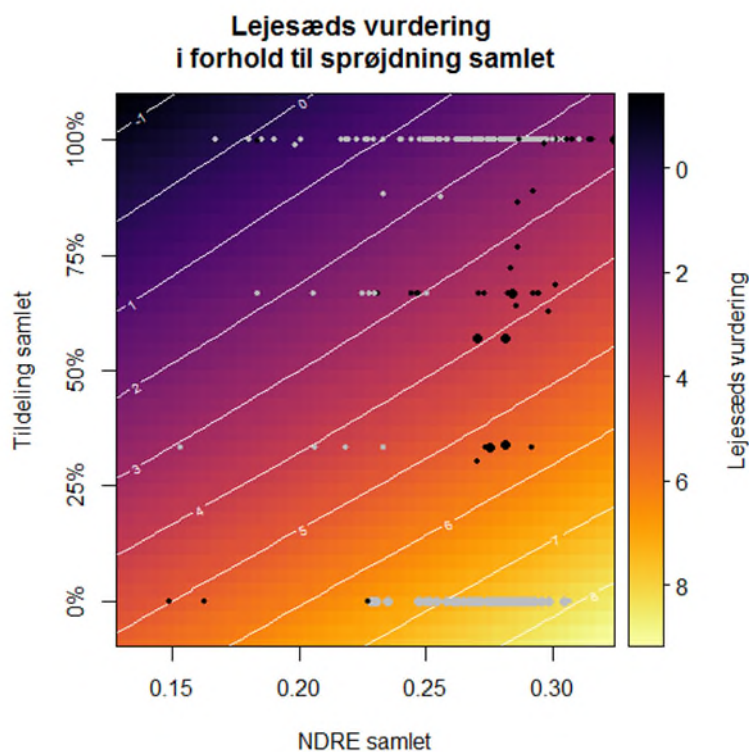
Gent: Gentagelse (1 – 4)

SF(x, y koordinater): komponenter fra Spatial Filtering proceduren for den spatiale korrelation mellem målepunkterne



Resultater

I figur 5 ses den estimerede effekt på lejesæds karakteren af tildeling af vækstreguleringsmidler i kombination med NDRE-målingerne. X-aksen viser således gennemsnittet af NDRE-værdierne, som er målt tre gange i løbet af april/maj måned. Y-aksen viser gennemsnittet af de tre tildelinger af vækstreguleringsmidler der har været i april/maj måned. Lejesæds karakteren er vist med farveskala gående fra mørk (karakter 0) til lysegul (karakter 9). De observerede værdier er også vist (prikker), hvor led 3 er fremhævet med sorte prikker fremfor de andre led (1, 2, 4 og 5), som er vist med gråt. Led 3 er det led, hvor behandlingen er udført så der er en større spredning i procent tildelt vækstreguleringsmiddel, når man tager gennemsnittet af de tre On/Off tildelinger i RKT-punkterne + 1 meter radius.



Figur 5. Estimeret effekt af tildeling af vækstreguleringsmidler i kombination med NDRE på lejesæds karakteren. På x-aksen ses gennemsnittet af NDRE for de tre droneflyvninger. På y-aksen ses gennemsnittet af de tre tildelinger af vækstreguleringsmidler. Farveskalaen angiver hvad modellen har estimeret lejesæds karakteren til at være; mørkfarve: karakter 0; lys gul: karakter 8. De observerede data er vist som sorte prikker (led 3) og grå prikker (led 1, 2, 4 og 5).

Af figuren ses det at man kan reducere tildelingen af vækstreguleringsmidler til ca. 75% og stadig opnå en lav lejesædkarakter (< 3) selv ved de høje NDRE-værdier. Ved en 50% reduktion af vækstreguleringsmidler vil lejesædkarakteren stadig være forholdsvis lav (mellem 4 og 5) og en reduktion på helt ned til 25% vil resultere i lidt mere kritisk lejesæds karakter på omkring 6.



Tabel 3 viser test af modeffekterne. Som det ses, er der en stærkt signifikant effekt af Tildeling og NDRE både som hovedeffekter og i vekselvirkning.

Tabel 3. ANOVA table med test af modeffekterne

Effekt	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Gent	14.299	3	P = 0.002 **
NDRE	52.021	4	P < 0.001 ***
Tildel	244.575	1	P < 0.001 ***
NDRE:Tildel	22.415	4	P < 0.001 ***

Signif. codes: ***: p < 0.001; **: p < 0.01; *: p < 0.05; .: p < 0.1

Modellen har en høj forklaringsgrad: $R^2 = 0.903$



Appendiks 1 – Geostatistisk model til analyse af OnFarm^{plus} forsøg

OnFarm^{plus} trials¹ are agricultural large-scale trials characterized by large amounts of georeferenced sensor data collected over a large and expectedly heterogeneous area, with numerous observations obtained within each treatment plot or strip. Examples of georeferenced sensor data are flow harvest data, soil conductivity data (EM38) and drone-recorded biomass proxy data (NDVI, NDRE). OnFarm^{plus} trials are preferably conducted on heterogeneous areas in order to address the potential effects of soil or crop properties on the treatment effects. Given a proper trial design and geostatistical model chosen, OnFarm^{plus} trials have especially two advantages over classical on-station field trials: 1) The large amounts of data collected in OnFarm^{plus} trials are expected to increase the probability of obtaining an increased statistical power for the detection of treatment effects. Hence, more firm conclusions can be achieved. 2) The application of treatments over a heterogeneous area allows for the estimation of an interaction between treatment and soil properties or other area-specific properties of the field. Hence, more agricultural knowledge can be obtained within a single trial.

OnFarm^{plus} trials are characterized by having numerous observations (repeated measurements) within each treatment plot or strip. When analyzed improper in a standard linear model, these observations are non-independent pseudo-replicates (Piepho et al. 2011). OnFarm^{plus} trials are analyzed using geostatistical models that explicitly models the spatial dependencies among the data (residuals). Here we used multivariate Spatial Filtering (SF) based on eigenvector decomposition thereby approximating the true spatial error function by means of breaking the random spatial variation down into uncorrelated components (eigenvectors) similar to variance decomposition in principal components regression (PCR), and choosing the number of required eigenvectors as the one that no further decreases the spatial dependency among the model residuals as evaluated by the Moran's I statistic. For an in-depth description of SF see Tiefelsdorf & Griffith (2007). We used R (R Core Team 2020) with the R-package spdep used for SF (Bivand & Piras 2015) and sperrorest used for spatial resampling (Brenning 2012).

Referencer

1: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/onfarm-forsoeg/onfarm-plus-forsoeg/38097> and <https://www.teknologisk.dk/onfarmplus-forsoeg-tildelt-2-agromek-stars/40082>

Bivand, R., Piras, G. (2015). Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. *Journal of Statistical Software*, 63(18), 1-36. URL <http://www.jstatsoft.org/v63/i18/>.

Brenning, A. 2012. Spatial cross-validation and bootstrap for the assessment of prediction rules in remote sensing: the R package 'sperrorest'. *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing IGARSS*

Piepho, H.-P., Richter, C., Spilke, J., Harting, K., Kunick, A., Thöle, H. (2011). Statistical aspects of on-farm experimentation. *Crop & Pasture Science*, 2011, 62, 721–735.

Tiefelsdorf, M. & Griffith (2007). Semiparametric filtering of spatial autocorrelation: the eigenvector approach. *Environment and Planning A* 2007, volume 39, pages 1193 - 1221.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>



Appendiks 2 - Modelkontrol

Shapiro-Wilk normality test

$W = 0.99186$, $p\text{-value} = 0.1126$

Bartlett test of homogeneity of variances

Bartlett's $K\text{-squared} = 6.9875$, $df = 4$, $p\text{-value} = 0.1365$

Modelantagelserne er opfyldte.

